

**KAJIAN TERHADAP MINERAL ZIRKON DAN
PEMBUKTIAN IMPAK METEORIT DI BUKIT
BUNUH, LENGGONG, PERAK DAN
SUMBANGANNYA KEPADA PENTARIKHAN**

NURUL SYUHADA SAAD

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2017

**KAJIAN TERHADAP MINERAL ZIRKON DAN
PEMBUKTIAN IMPAK METEORIT DI BUKIT
BUNUH, LENGGONG, PERAK DAN
SUMBANGANNYA KEPADA PENTARIKHAN**

oleh

NURUL SYUHADA SAAD

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sastera**

Jun 2017

PENGHARGAAN

Assalamualaikum

Segala puji dan syukur dipanjatkan ke hadrat Ilahi dan selawat serta salam ke atas junjungan besar Nabi Muhammad SAW dengan limpah kurnianya maka tesis ini dapat disiapkan seperti mana yang diharapkan.

Setinggi-tinggi ucapan penghargaan ditujukan kepada penyelia saya iaitu Prof. Dato' Dr. Mokhtar Saidin, Pengarah Pusat Penyelidikan Arkeologi Global (PPAG), Universiti Sains Malaysia (USM), Pulau Pinang serta pensyarah saya Prof. Dr. Hamzah Mohamad yang banyak membimbing dan memberi tunjuk ajar untuk saya menyiapkan tesis ini. Saya juga ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada pensyarah dan semua kakitangan PPAG yang banyak membantu saya dalam kerja-kerja menganalisis sampel di PPAG serta kepada Dr. Azimah Hussin, Ketua Program Geologi, Universiti Kebangsaan Malaysia yang telah memberi kebenaran kepada saya untuk menjalankan analisis sampel di Makmal Mineral Ekonomi di bangunan Sains Geologi UKM. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada rakan-rakan seperjuangan di PPAG dan sahabat handai yang mengenali diri ini di atas bantuan dan dorongan yang tidak pernah putus, hanya Allah yang dapat membalas jasa kalian. Akhir kata, sekalung budi dan doa untuk Allahyarham ayahanda tercinta Saad Shaari atas doa dan dorongan untuk saya terus menimba ilmu semasa hayatnya serta untuk bonda yang dikasihi Maznah Adnan yang tidak pernah jemu berdoa untuk melihat saya terus berjaya. Kasih dan sayang juga dirakamkan untuk suami tercinta Shyeh Sahibul Karamah Masnan dan adik beradik serta semua ahli keluarga yang menjadi penguat semangat untuk saya tidak pernah penat dalam menuntut ilmu sehingga ke akhir pengajian ini. Terima kasih.

ISI KANDUNGAN

PENGHARGAAN	ii
ISI KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	viii
SENARAI RAJAH	x
SENARAI FOTO	xviii
ABSTRAK	xxi
ABSTRACT	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN: BUKIT BUNUH, LENGGONG, PERAK	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Lokasi kajian	1
1.3 Mineral zirkon	2
1.4 Kajian terdahulu	5
1.4.1 Kajian arkeologi di Bukit Bunuh	5
1.4.2 Kajian geologi di Bukit Bunuh	10
1.5 Isu dan masalah	22
1.6 Tujuan	24
1.7 Metod kajian	24
1.8 Skop kajian	25
1.9 Rumusan bab	25
BAB 2 KAJIAN LITERATUR: ZIRKON DI KAWAH IMPAK DUNIA	27
2.1 Pengenalan	27

2.2	Impak meteorit	27
2.3	Mineral impak lazim yang ditemui	33
2.3.1	Mineral polimorf bertekanan tinggi	34
2.3.2	Mineral dengan kehadiran mikrostruktur akibat impak meteorit	36
2.4	Kawah impak dengan bukti kehadiran mineral reidit	42
2.4.1	Kawah Xiuyan, China	43
2.4.2	Kawah Ries, German	47
2.4.3	Kawah Chesapeake Bay, Virginia, USA	49
2.4.4	Kawah Rock Elm, Wisconsin, USA	51
2.5	Kawah impak dunia yang mempunyai bukti mikrostruktur zirkon impak	54
2.5.1	Kawah Colonia, Sao Paulo, Brazil	55
2.5.2	Kawah Popigai, Rusia	58
2.5.3	Kawah Chicxulub, Yucatan, Mexico	63
2.5.4	Sierra Madera, Texas, USA	65
2.5.5	Kawah Acraman, Australia Selatan	69
2.5.6	Kawah Sudbury, Kanada	73
2.5.7	Kawah Vredefort, Afrika Selatan	78
2.5.8	Ciri-ciri zirkon impak di kawah impak dunia	82
2.6	Pentarikan zirkon pada kawah impak dunia	83
2.6.1	Tapak-tapak impak meteorit dunia	83
2.6.2	Tapak-tapak impak dunia dengan pentarikan usia kawah	84
2.6.3	Tapak-tapak impak dunia dengan pentarikan mineral zirkon	84
2.7	Kawah meteorit di Malaysia	89
2.7.1	Kawah Mahsuri, Pulau Langkawi, Kedah	93
2.7.2	Kawah Paloh, Pahang	96
2.8	Pentarikan yang dilakukan di Bukit Bunuh	100
2.9	Rumusan bab	102

BAB 3	BAHAN DAN KAEDAH	104
3.1	Pengenalan	104
3.2	Pemetaan dan persampelan	104
3.2.1	Mineral berat	105
3.2.2	Persampelan	106
3.2.3	Mendulang	108
3.3	Kerja lapangan	111
3.3.1	Kerja lapangan 1	112
3.3.2	Kerja lapangan 2	114
3.3.3	Kerja lapangan 3	116
3.4	Kaedah pengekstrakan zirkon daripada mineral berat	118
3.4.1	Kaedah pengasingan graviti dengan menggunakan cecair berat (bromoform)	118
3.4.2	Pemisah magnet	119
3.4.3	Kaedah pemilihan tangan	124
3.5	Kaedah pengekstrakan zirkon daripada batuan	126
3.5.1	Keratan nipis	127
3.5.2	Penyerbukan sampel	128
3.5.3	Kaedah pengasingan graviti oleh mineral berat	131
3.5.4	Kaedah pemisah magnet	132
3.5.5	Kaedah pemilihan tangan	132
3.6	Analisis XRD	133
3.7	Analisis XRF	137
3.8	Analisis SEM	140
3.9	Konsep pentarikhan	142
3.10	Teknik pentarikhan	145

3.10.1	Ciri-ciri zirkon yang digunakan bagi teknik pentarikan	146
3.11	Teknik pentarikan yang telah digunakan pada sampel di Bukit Bunuh	147
3.12	Pentarikan U - Pb pada sampel Bukit Bunuh	149
3.12.1	Prosedur analitikal	150
3.12.2	Alat SHRIMP	151
3.13	Pentarikan zirkon di Bukit Bunuh	152
3.14	Rumusan bab	154
BAB 4	HASIL DAN PERBINCANGAN: ANALISIS ZIRKON	155
4.1	Pengenalan	155
4.2	Analisis XRD	155
4.3	Analisis XRF	156
4.4	Analisis SEM	161
4.5	Zirkon impak	161
4.5.1	Zirkon dengan kehadiran mineral reidit	164
4.5.2	Zirkon dengan kehadiran mikrostruktur PF	166
4.5.3	Zirkon dengan kehadiran mikrostruktur PDF	175
4.5.4	Zirkon dengan kehadiran tekstur granular	176
4.6	Ciri-ciri fizikal zirkon di Bukit Bunuh	179
4.6.1	Warna dan darjah lutsinar zirkon di Bukit Bunuh	179
4.6.2	Morfologi luaran zirkon di Bukit Bunuh	182
4.6.3	Inklusi di dalam zirkon di Bukit Bunuh	184
4.6.4	Morfologi retakan pada zirkon di Bukit Bunuh	187
4.6.5	Tekstur pengezonan di dalam zirkon di Bukit Bunuh	191
4.6.6	Morfologi teras xenokris di dalam zirkon di Bukit Bunuh	193
4.7	Rumusan bab	196

BAB 5	HASIL DAN PERBINCANGAN: PENTARIKHAN ZIRKON	197
5.1	Pengenalan	197
5.2	Hasil pentarikhan zirkon di Bukit Bunuh	197
5.6	Rumusan bab	198
BAB 6	KESIMPULAN	200
6.1	Pengenalan	200
6.2	Ciri-ciri zirkon di Bukit Bunuh	202
6.3	Sifat-sifat fizikal zirkon impak di Bukit Bunuh	204
6.4	Pentarikhan zirkon di Bukit Bunuh	206
6.5	Kajian lanjutan	210
	RUJUKAN	211
	GLOSARI	251
LAMPIRAN 1	190 tapak impak meteorit dunia yang telah diiktiraf oleh PASCSC sehingga tahun 2016 mengikut usia	255
LAMPIRAN 2	Tapak impak dunia dengan pentarikhan usia kawah oleh kaedah saintifik	281
LAMPIRAN 3	Kerja lapangan 2 yang telah dijalankan di kawasan kajian	293
LAMPIRAN 4	Kerja lapangan 3 yang telah dijalankan di kawasan kajian	294
LAMPIRAN 5	Kaedah pengasingan graviti dengan menggunakan cecair berat (bromoform)	295
LAMPIRAN 6	Kaedah pemilihan tangan	297
LAMPIRAN 7	Keratan nipis	298
LAMPIRAN 8	Pengayakkan basah	300
LAMPIRAN 9	Kaedah pemisah magnet tangan	301
LAMPIRAN 10	Teknik XRD	302
LAMPIRAN 11	Hasil analisis XRD	303
LAMPIRAN 12	Aturcara analisis kualitatif XRF	325
LAMPIRAN 13	Hasil analisis SEM sebelum dilakukan pentarikhan	329
	SENARAI PERSIDANGAN	336

SENARAI JADUAL

		Muka surat
Jadual 2.1	Fasa metamorfisme impak pada batuan berhablur tidak poros (selepas French, 1998).	31
Jadual 2.2	Metamorfisme kejutan: Perbezaan dengan proses geologi (selepas French, 1998).	32
Jadual 2.3	Tekanan impak dan kesan-kesannya (selepas French, 1998).	33
Jadual 2.4	Mineral polimorf bertekanan tinggi yang terbentuk akibat daripada impak meteorit.	35
Jadual 2.5	Mineral-mineral lazim dengan kehadiran mikrostruktur.	37
Jadual 2.6	Tapak-tapak impak meteorit yang mempunyai batuan suevit di seluruh dunia mengikut usia termasuk tapak Bukit Bunuh, Lenggong, Perak (selepas Mokhtar, 2012b; Nur Asikin, 2013).	39
Jadual 2.7	Kawah impak dunia dengan kehadiran mineral reidit.	42
Jadual 2.8	Kawah impak dunia dengan kehadiran bukti mikrostruktur zirkon impak (selepas Planetary and Space Science Centre, 2016(1)).	55
Jadual 2.9	Bahan eksotik di dalam butiran zirkon kawah Acraman (selepas Schmieder <i>et al.</i> , 2013).	71
Jadual 2.10	Tapak kawah impak dunia dengan pentarikan mineral zirkon.	85
Jadual 2.11	Penentuan struktur kawah impak oleh Landsat Thematic Mapper (1990s), peta geologi oleh Geological Survey of Malaysia (1985, 1988) dan pelbagai peta geologi yang telah diterbitkan sebagai memoir, imej satelit SPOT untuk kawasan Tenggara Johor, dan kajian lapangan di beberapa kawasan di Semenanjung Malaysia (selepas Tjia & Mazlan, 2002).	89
Jadual 2.12	Usia pentarikan bagi 19 sampel suevit dan satu sampel kuarza daripada Bukit Bunuh (selepas Mokhtar, 2012).	100

Jadual 3.1	Lembaran peta topografi yang digunakan untuk menentukan kawasan kajian.	105
Jadual 3.2	Peralatan yang digunakan semasa menjalankan kerja lapangan.	105
Jadual 3.3	Kerja lapangan 1 yang telah dijalankan di kawasan kajian.	110
Jadual 3.4	Kerja lapangan 2 yang telah dijalankan di kawasan kajian.	112
Jadual 3.5	Kerja lapangan 3 yang telah dijalankan di kawasan kajian.	114
Jadual 3.6	Mineral feromagnetik yang terdapat di dalam sampel Sg BBh di kawasan kajian.	119
Jadual 3.7	Sampel batuan impaktit yang diambil di sekitar Bukit Bunuh.	125
Jadual 4.1	Hasil analisis mineral berat di Bukit Bunuh dan kawasan sekitarnya oleh teknik XRD yang menunjukkan kehadiran zirkon pada semua sampel MBBH.	157
Jadual 4.2	Hasil analisis XRF menunjukkan kehadiran unsur zirkonium (Zr) dengan kepekatan yang lebih tinggi berbanding unsur-unsur lain di dalam sampel mineral berat dari Bukit Bunuh dan kawasan sekitarnya.	158
Jadual 4.3	Menunjukkan zirkon dengan kehadiran mikrostruktur PF.	167
Jadual 4.4	Imej SEM zirkon di Bukit Bunuh dengan kehadiran tekstur granular.	177
Jadual 4.5	Kehadiran inklusi di dalam mineral zirkon di Bukit Bunuh dan kawasan sekitarnya.	185
Jadual 4.6	Menunjukkan ciri-ciri fizikal zirkon yang terdapat di Bukit Bunuh dan kawasan sekitarnya.	195
Jadual 5.1	Usia pentarikan zirkon Bukit Bunuh dengan menggunakan teknik U – Pb.	199
Jadual 6.1	Usia pentarikan yang telah dilakukan di Bukit Bunuh (selepas Mokhtar, 2012).	206

SENARAI RAJAH

		Muka surat
Rajah 1.1	Kawasan kajian Bukit Bunuh yang terletak di dalam daerah Lenggong, Perak.	2
Rajah 1.2	Peta geologi kawasan kajian (selepas Abdul Rahim, 2012; Nur Asikin, 2013; Rosli Saad, 2016)	3
Rajah 1.3	Ekskavasi yang telah dijalankan di Bukit Bunuh (selepas Mokhtar, 2004; Nor Khairunnisa, 2013; Nur Asikin 2013).	7
Rajah 1.4	Kawah impak meteorit di Malaysia yang telah dibuktikan (selepas Tjia, 2003).	12
Rajah 1.5	Stratigrafi kawasan Lenggong (selepas Kamal Roslan <i>et al.</i> , 2012; Nor Khairunnisa, 2013; Nur Asikin, 2013).	15
Rajah 2.1	Pembentukan struktur impak ringkas (selepas French, 1998).	30
Rajah 2.2	Keadaan metamorfisme kejutan (selepas French, 1998).	36
Rajah 2.3	Taburan kawah impak dunia dengan kehadiran pembentukan mineral reidit (titik kuning) (selepas Ferrière, 2016).	43
Rajah 2.4	(a) Lokasi kawah Xiuyan yang terletak di Semenanjung Liaodong bahagian utara China; (b) Pemandangan panorama kawah Xiuyan (Chen <i>et al.</i> , 2013).	44
Rajah 2.5	Spektra Raman antara reidit – zirkon. (a) Spektrum Raman zirkon pada puncak 205, 227, 358, 440, 976 dan 1008 cm^{-1} ; (b) Spektrum Raman daripada dua fasa campuran antara reidit (Rdt) dan zirkon (Zrn) pada 300, 330, 407, 462, 560, 611, 846 dan 885 cm^{-1} yang mewakili mineral reidit (Chen <i>et al.</i> , 2013).	46
Rajah 2.6	Imej BSE menunjukkan struktur retakan dan deformasi reidit – zirkon yang sangat rencam di dalam fasa II pembentukan batuan gneis. Terdapat peralapisan nipis mineral reidit (Rdt) yang bersaiz sehingga 5 μm telah dijumpai di dalam mineral zirkon (Zrn). Reidit menunjukkan warna yang lebih cerah daripada zirkon di dalam imej tersebut berdasarkan nilai	46

	ketumpatannya yang lebih tinggi (Chen <i>et al.</i> , 2013).	
Rajah 2.7	Peta geologi ringkas struktur impak Ries yang menunjukkan taburan batuan impaktit dan suevit yang dijumpai pada permukaan (selepas Huttner & Schmidt – Kaler., 1999; Muttik <i>et al.</i> , 2008).	48
Rajah 2.8	Reidit daripada kawah Ries. (a) dan (b) butiran reidit – zirkon dengan corak tekstur pengezonan yang kompleks dan mikrostruktur planar yang berasosiasi dengan koesit, kuarza diapletik dan vesikul leburan kuarza yang menunjukkan fasa kejutan III daripada sampel Zipplingen (mikroskop optik, mikroskop cahaya dan imej BSE – SEM). (c) butiran reidit – zirkon berasosiasi dengan vesikul, penghabluran semula leburan plagioklas pada sampel yang mengalami fasa kejutan III daripada Zipplingen. Rim zirkon menunjukkan kehadiran tekstur granular (imej SEM – BSE). d) domain spektra Raman diwakili oleh label (a), (b), dan (c): (1) reidit – zirkon, garis frekuensi reidit diwakili oleh (R) iaitu -842 cm^{-1} dan 880 cm^{-1} manakala zirkon (Z) -1006 cm^{-1} ; (2) koesit menunjukkan puncak frekuensi pada 518 cm^{-1} (X); (3) spektrum rim granular zirkon (Z) dengan frekuensi 1001 cm^{-1} ; (4) spektrum teras reidit – zirkon dengan frekuensi (Z) pada 1003 cm^{-1} dan (R) pada 839 cm^{-1} dan 878 cm^{-1} (Wittmann <i>et al.</i> , 2006).	49
Rajah 2.9	Imej model 3D kawah Ries yang kelihatan membujur ke utara (Wylei Poag, 2016).	50
Rajah 2.10	Imej SEM-BSE menunjukkan penguraian pada bahagian depan domain zirkon – reidit (Malone <i>et al.</i> , 2010).	51
Rajah 2.11	Geologi kawah Rock Elm yang menunjukkan ianya sangat berbeza daripada geologi kawasan sekitarnya (United States Meteorite Impact Craters, 2016).	53
Rajah 2.12	Peta fasa mineral zirkon yang menunjukkan kehadiran mineral reidit (Cavosie <i>et al.</i> , 2015).	53
Rajah 2.13	Mineral zirkon dengan kehadiran reidit: (i) lamela reidit, (ii) nano-granular reidit di dalam void, (iii) nano-granular reidit pada permukaan luaran (Cavosie <i>et al.</i> , 2015).	54
Rajah 2.14	Lokasi kawah impak dunia dengan kehadiran bukti mikrostruktur zirkon impak (selepas Ferrière, 2016).	55
Rajah 2.15	Peta geologi ringkas bagi kawah impak Colonia	57

(selepas Velazquez *et al.*, 2013).

- | | | |
|------------|--|----|
| Rajah 2.16 | Foto menunjukkan satu butir zirkon pada pandangan nikol silang dan tidak silang dengan bukti fasa transformasi bertekanan tinggi iaitu dengan kehadiran tekstur granular pada sempadan zirkon ini (Velazquez <i>et al.</i> , 2013). | 58 |
| Rajah 2.17 | Peta geologi kawah impak Popigai yang telah dilakar. (1) gneis Arkean; (2) kuarzit Proterozoik Atas dan Kambrian, dolomit dan batu kapur; (3) batu pasir Permian dan argilit dengan daik dan sil daripada dolerit Trias; (4) tagamit; (5) (a) suevit dan (b) breksia polimik alogenik berbutir halus (koptoklastik) dengan minor suevit; (6) breksia polimik alogenik berbutir kasar; (7) garisan tengah pusat kawah; (8) garisan tengah bibir kawah; (9) paksi radial pusat kawah; (10) sesar (Masaitis, 1998). | 60 |
| Rajah 2.18 | Sampel batuan leburan impak kawah Popigai. (a) dan (b) satu butiran zirkon dengan kehadiran dua set bersilang planar mikrostruktur yang saling tumbuh di dalam kuarza ballen dan di dalam matrik leburan (mikroskop optik, mikroskop cahaya dan imej SEM-BSE). (c) dan (d) berwarna hitam, butiran zirkon dengan tekstur granular di dalam matrik batuan leburan (mikroskop optik, mikroskop cahaya, imej SEM-BSE). Tekstur granular pada zirkon ini menunjukkan kehadiran mikrovesikel dan inklusi-inklusi yang bersaiz kecil. (e) dan (f) imej SEM-BSE butiran zirkon di dalam kuarza ballen pecahan batuan gneis yang menunjukkan impak kejutan pada fasa III. Inklusi tersebut terdiri daripada mineral apatit (ap) (Wittmann <i>et al.</i> , 2006). | 62 |
| Rajah 2.19 | Imej kawah Chicxulub melalui analisis kecerunan graviti (Planetary and Space Science Centre, 2016(2)). | 63 |
| Rajah 2.20 | Imej SEM bagi tiga butiran zirkon yang dianalisis untuk U dan Pb. Butiran zirkon (a) dan (b) berbentuk euhedral dan mempunyai retakan planar (PF), (c-d) mempunyai retakan planar pembentukan separa tekstur granul, dan ianya berbentuk bulat pada bucuanya namun masih mempunyai muka hablur, dan (e-f) menunjukkan penghabluran semula dan mempunyai permukaan yang bulat (Kamo, 2012). | 64 |
| Rajah 2.21 | Peta geologi bagi pusat kawah impak Sierra Madera. Nombor yang bersebelahan dengan anak panah menunjukkan orientasi kon pecah yang terpelihara pada kedudukan horizontal. Garis bulatan putus-putus | 66 |

	menunjukkan taburan kon pecah yang banyak. Rajah ini termasuk data daripada (Wilshire <i>et al.</i> , 1972; anak panah penuh) dan (Huson <i>et al.</i> , 2011; anak panah putus-putus).	
Rajah 2.22	Deformasi yang mungkin berlaku pada mineral zirkon. (a-b) imej SEM menunjukkan permukaan zirkon dengan kehadiran retakan planar daripada batu pasir Word. (c-d) imej SEM menunjukkan tekstur granular dengan sisa tampalan daripada permukaan zirkon batu pasir Word yang licin. (e) imej mikroskop cahaya yang menunjukkan retakan planar daripada keratan gilap zirkon di dalam epoksi. Sampel zirkon ini daripada batu pasir Gilliam (Huson <i>et al.</i> , 2011).	68
Rajah 2.23	Imej Landsat menunjukkan kawah Acraman yang berdiameter 90 km (bulatan merah) (Planetary and Space Science Centre, 2016(3)).	70
Rajah 2.24	Ciri-ciri metamorfik kejutan pada zirkon di kawah Acraman dengan kehadiran PDF, PF dan tekstur granular (Schmieder <i>et al.</i> , 2013).	71
Rajah 2.25	Peta geologi lembangan Sudbury, Ontario daripada Muir dan Peredery (1984). Lokasi sampel untuk gneis Levack (a), granit Murray (b), Formasi Onaping (c) (selepas Krogh <i>et al.</i> , 1996).	74
Rajah 2.26	Pra-impak zirkon dengan kehadiran mikrostruktur PDF di kawah Sudbury, Kanada (Corfu <i>et al.</i> , 2003).	75
Rajah 2.27	Imej SEM zirkon impak (dengan kehadiran retakan planar) daripada kawah impak Sudbury (Krogh <i>et al.</i> , 1996).	75
Rajah 2.28	Fotomikrograf zirkon (a-h) daripada daik Foy Offset, (a-e) dan gneis Levack (f-h); (a-f) teknik mikroskop cahaya tuju, (b-e, g, h) SEM. (a, b) butiran zirkon berbentuk prisma yang pendek. (c-d) butiran prisma yang panjang dengan ciri-ciri pemecahan, (e) butiran prisma panjang yang baru terbentuk, (f-h) butiran zirkon Arkean berstruktur pengezonan dengan sekurang-kurangnya tiga set silang retakan planar (Ostermann <i>et al.</i> , 1996).	76
Rajah 2.29	Imej SEM terhadap zirkon daripada gneis Levack (a dan b) – penyerapan semula metamorf; daripada granit Murray (c) – tabiat igneus; dan daripada bendalir kekaca Onaping (d) berbentuk bulat asalan sedimen (Krogh <i>et al.</i> , 1996).	77

Rajah 2.30	Imej SEM menunjukkan variasi zirkon kejutan daripada Formasi Onaping: (a) butiran zirkon menunjukkan mikrostruktur PDF, (b) butiran dengan PDF dan pembentukan polikristalin tekstur granular, (c) butiran polikristalin, (d) butiran polikristalin dengan tekstur leburan (Krogh <i>et al.</i> , 1996).	78
Rajah 2.31	Imej satelit STS 511-33-56AA yang menunjukkan struktur kawah Vredefort yang berdiameter 200 – 300 km (Planetary and Space Science Centre, 2016(4)).	79
Rajah 2.32	Peta Geologi menunjukkan batuan di kawah Vredefort terdiri daripada batuan igneus Prakambrian dan batuan metamorfik termasuk kuarzit (Tuchscherer, 2016).	80
Rajah 2.33	Zirkon impak pada struktur kawah impak meteorit Vredefort dengan kehadiran mikrostruktur PDF dan tekstur granular (Corfu <i>et al.</i> , 2003).	81
Rajah 2.34	(a) Imej luaran butiran zirkon kejutan 17-197 asalan detrital daripada pusat kawah Vredefort; (b) Imej dalaman zirkon bagi butiran 42-1-213 (Erickson <i>et al.</i> , 2013).	82
Rajah 2.35	Taburan kawah impak meteorit dunia (Planetary and Space Science Centre, 2016(5)).	84
Rajah 2.36	Peta geologi bahagian tengah Pulau Langkawi selepas Jones (1978) dengan penambahan. Direkodkan Kawah Mahsuri yang separa terdedah (selepas Tjia & Mazlan, 2002).	93
Rajah 2.37	Beberapa siri kemungkinan kawah impak: Tepor (Tp) – Temoyong (T) – Kawah Mahsuri berganda pada imej Landsat. Tanda bintang (asterisks) merupakan lokasi kuarza dengan PDF dan Pulau Tokong Jepun (selepas Tjia & Mazlan, 2002).	94
Rajah 2.38	Padaman bermoze dan ira pada arah timur tenggara merupakan bukti kepada metamorfisme kejutan. Keratan nipis telerang kuarza ini diambil daripada telerang (stok daik-sill) di dalam perlapisan Singa Karbon. Bahagian tanpa nikol silang. Ukuran bar ialah 100 mikron (Tjia & Mazlan, 2002).	95
Rajah 2.39	Foto Mikrostruktur PDF pada arah barat laut dan timur laut, ira pada arah timur laut lebih rapat antara satu sama lain. Telerang kuarza di dalam filit berwarna gelap Formasi Singa di Porto Malai, barat daya Langkawi. Bahagian nikol silang. Ukuran bar ialah 200 mikron (Tjia & Mazlan, 2002).	95

Rajah 2.40	Kawah Paloh 1 (bulatan merah) oleh imej satelit (selepas Tjia & Mazlan, 2002).	97
Rajah 2.41	Lokasi Kawah Paloh pada sempadan Pahang – Terengganu dan granit Beserah dengan struktur PDF di dalam butiran kuarza (selepas Tjia & Mazlan, 2002).	98
Rajah 2.42	Metamorfisme kejutan menjelmakan paling kurang empat set ira (BL, UTL, TL, TTL) dan struktur mozek telah dihasilkan oleh padaman tampalan di dalam satu keratan nipis kuarza daripada satu telerang batuan sedimen Karbon. Pada arah timur kaki Bukit Paloh, bahagian Hulu Sungai Mengkuang, Pahang. Bahagian tanpa nikol silang. Ukuran bar ialah 200 mikron (Tjia & Mazlan, 2002).	99
Rajah 2.43	Pembentukan ira semulajadi bersilang dengan kembaran kuarza megakristik di dalam granit separa terluluhawa di Beserah berhampiran Kuantan, Pahang. Keratan nipis ini di bawah pandangan nikol silang. Ukuran bar ialah 200 mikron (Tjia & Mazlan, 2002).	99
Rajah 2.44	Stratigrafi Lenggong (selepas Mokhtar, 2012b; Nur Asikin, 2013).	102
Rajah 3.1	Peta lokaliti sampel mineral berat bagi kerja lapangan 1, 2 dan 3. Lingkaran biru menunjukkan diameter kawah impak yang telah dikaji. Lingkaran putus-putus berwarna coklat pula menunjukkan anggaran sebaran batuan impaktit selepas berlakunya impak meteorit tersebut.	112
Rajah 3.2	Taburan lokaliti bagi sampel MBBh di Bukit Bunuh dan kawasan sekitarnya bagi kerja lapangan 1 pada 3 – 30 Disember 2012.	114
Rajah 3.3	Lokaliti sampel Sg BBh yang difokuskan di Bukit Bunuh sebagai pusat kawah impak bagi kerja lapangan 2 pada 2 – 5 Jun 2013.	115
Rajah 3.4	Lokaliti sampel Sg MBBh yang dilakukan di Bukit Bunuh pada 8 – 10 Julai 2015.	117
Rajah 3.5	Lokaliti sampel Sg MBBh yang telah diambil pada 11 – 18 Ogos 2015, persampelan ini telah dijalankan di sekitar daerah Lenggong, Perak.	117
Rajah 3.6	Proses-proses yang berlaku di dalam alat pemisah magnet isodinamik Frantz. Aliran sampel daripada	123

kanan ke kiri (selepas Edwards & Fagin, 2014).

Rajah 3.7	Sudut tepi dan sudut hadapan alat pemisah magnet isodonamik Frantz (selepas Flinter, 1959).	123
Rajah 3.8	Lokaliti sampel batuan Impaktit yang diambil di sekitar Bukit Bunuh untuk dilakukan analisis pentarikhan U – Pb. Persampelan hanya dilakukan pada kawasan yang mempunyai jumlah taburan batuan impaktit yang tinggi.	127
Rajah 3.9	Graf menunjukkan ukuran ketepatan mesin XRD di PPAG dengan menggunakan korundum.	136
Rajah 3.10	SHRIMP II pengumpul individu (selepas William, 1998).	151
Rajah 3.11	Metod yang digunakan di dalam kajian.	153
Rajah 4.1	Perubahan mineral zirkon terhadap suhu dan tekanan (selepas Wittmann <i>et al.</i> , 2006).	162
Rajah 4.2	Graf 2 θ melawan titik kekerapan yang menunjukkan puncak mineral reidit di dalam sampel Sg BBh 22.	165
Rajah 4.3	Imej SEM pecahan zirkon bagi sampel Sg MBBh 37 dengan kehadiran PDF pada pembesaran 1297 \times .	175
Rajah 4.4	Imej SEM zirkon bagi sampel Sg MBBh 37 dengan kehadiran PDF pada pembesaran 2343 \times .	176
Rajah 4.5	Imej SEM yang menunjukkan morfologi retakan pada butiran zirkon di dalam sampel Sg BBh 21 pada pembesaran 841 \times .	188
Rajah 4.6	Imej SEM yang menunjukkan morfologi retakan pada butiran zirkon di dalam sampel Sg BBh 21 pada pembesaran 50,000 \times .	189
Rajah 4.7	Imej SEM yang menunjukkan morfologi retakan pada butiran zirkon di dalam sampel Sg BBh 25 pada pembesaran 400 \times .	189
Rajah 4.8	Imej SEM yang menunjukkan morfologi retakan pada butiran zirkon di dalam sampel Sg BBh 26 pada pembesaran 500 \times .	190
Rajah 4.9	Imej SEM dengan tekstur pengezonan pada butiran zirkon sampel Sg BBh 21 dengan pembesaran 2,000 \times .	192

Rajah 4.10 Imej SEM dengan tekstur pengezonan pada butiran zirkon sampel Sg BBh 21 dengan pembesaran 4,000 \times .

192

SENARAI FOTO

		Muka surat
Foto 3.1	Dulang yang diguna dalam kajian ini merupakan dulang piawai emas berdiameter 12 inci.	109
Foto 3.2	Teknik mendulang yang dilakukan secara <i>in-situ</i> di sebatang sungai.	110
Foto 3.3	Sampel mineral berat yang telah dikeringkan di dalam oven selama sehari semalam.	111
Foto 3.4	Singkapan air terjun bagi lokaliti sampel MBBh 1 di Lata Kekabu.	113
Foto 3.5	Singkapan sungai bagi lokaliti sampel MBBh 7 di Sungai Chepor.	115
Foto 3.6	Singkapan sungai kering bagi lokaliti sampel Sg BBh 1 di Bukit Bunuh.	116
Foto 3.7	Menunjukkan radas dan bahan yang digunakan untuk proses pengasingan mineral berat secara graviti dengan menggunakan cecair berat.	119
Foto 3.8	Alat pemisah magnet isodinamik Frantz yang digunakan untuk memisahkan mineral berat berdasarkan ciri-ciri kemagnetan mineral-mineral tersebut.	122
Foto 3.9	Mikroskop optik yang digunakan untuk menentukan ciri-ciri fizikal zirkon yang terdapat di kawasan kajian.	125
Foto 3.10	Stab atau pemegang sampel untuk SEM di mana sampel zirkon dilekatkan pada permukaan pita kuprum.	125
Foto 3.11	Alat pemotong batu (Felker Tile Master) yang terdapat di makmal penyediaan sampel (PPAG) telah digunakan untuk memotong batu kepada kepingan yang lebih kecil sebelum di buat keratan nipis atau diserbukkan.	128
Foto 3.12	Alat pemecah rahang berjenama Retsch model BB100 yang terdapat di makmal penyediaan sampel (PPAG) telah digunakan untuk memecahkan batu	129

kepada saiz sehingga beberapa cm.

Foto 3.13	Mesin penyerbukan gegelung (<i>ring mill</i>) berjenama Retsch model RS200 terdapat di makmal penyediaan sampel (PPAG) yang telah digunakan untuk menyerbukkan sampel batuan selepas penyerpihan oleh alat pemecah rahang.	130
Foto 3.14	Mesin penyerbukan bebola (<i>ball mill</i>) berjenama Retsch model PM100 yang terdapat di makmal penyediaan sampel (PPAG) telah digunakan pada peringkat akhir penyerbukan dengan menggunakan mesin.	131
Foto 3.15	Peralatan magnetik tangan yang digunakan untuk melakukan proses pemisah magnet oleh magnet tangan.	132
Foto 3.16	Mesin XRD yang digunakan di Makmal Pencirian Bahan Bumi di PPAG, USM.	135
Foto 3.17	Mesin XRF yang digunakan di Makmal Pencirian Bahan Bumi di PPAG, USM.	140
Foto 3.18	Mikroskop elektron imbasan (SEM) model Quanta 650 FEG (FEI, Holland) yang digunakan di Makmal Pencirian Bahan Bumi di PPAG, USM.	141
Foto 3.19	Alat SHRIMP IIe yang digunakan untuk analisis pentarikan sampel zirkon Bukit Bunuh yang terdapat di Korea Basic Science Institute (KBSI), Ochang, Korea.	149
Foto 4.1	Mesin XRD yang digunakan di Makmal Pencirian Bahan Bumi di PPAG, USM.	180
Foto 4.2	Mesin XRF yang digunakan di Makmal Pencirian Bahan Bumi di PPAG, USM.	180
Foto 4.3	Mikroskop elektron imbasan yang digunakan di Makmal Pencirian Bahan Bumi di PPAG, USM.	181
Foto 4.4	Butiran mineral zirkon yang berwarna nirwana pada sampel Sg BBh 10 dengan menggunakan kaedah mikroskop optik dengan pembesaran 8.0×10 .	181
Foto 4.5	Butiran mineral zirkon yang berwarna merah jambu pada sampel Sg BBh 10 dengan menggunakan kaedah mikroskop optik dengan pembesaran 8.0×10 .	182

Foto 4.6	Butiran mineral zirkon yang berwarna merah kecoklatan pada sampel Sg BBh 9 dengan menggunakan kaedah mikroskop optik dengan pembesaran 8.0×10 .	183
Foto 4.7	Butiran mineral zirkon yang mempunyai darjah lutsinar yang tinggi pada sampel Sg BBh 17 dengan menggunakan kaedah mikroskop optik dengan pembesaran 8.0×10 .	183
Foto 4.8	Butiran mineral zirkon yang legap pada sampel Sg BBh 3 dengan menggunakan kaedah mikroskop optik dengan pembesaran 8.0×10 .	184
Foto 4.9	Morfologi retakan yang ditemui pada permukaan mineral zirkon sampel	190
Foto 4.10	Morfologi retakan yang ditemui di dalam butiran mineral zirkon sampel Sg BBh 5 dengan menggunakan mikroskop optik pada pembesaran 11.5×10 .	191
Foto 4.11	Morfologi teras xenokris di dalam butiran sampel zirkon dengan menggunakan kaedah mikroskop optik bagi sampel Sg BBh 3 (pembesaran: 8.0×10).	194
Foto 4.12	Morfologi teras xenokris di dalam butiran sampel zirkon dengan menggunakan kaedah mikroskop optik bagi sampel bagi sampel Sg BBh 10 (pembesaran: 11.5×10).	194
Foto 5.1	Alat SHRIMP IIe yang digunakan untuk analisis pentarikhan sampel zirkon Bukit Bunuh yang terdapat di KBSI, Korea.	187

**KAJIAN TERHADAP MINERAL ZIRKON DAN PEMBUKTIAN IMPAK
METEORIT DI BUKIT BUNUH, LENGGONG, PERAK DAN
SUMBANGANNYA KEPADA PENTARIKHAN**

ABSTRAK

Kajian ini memberi tumpuan kepada bukti impak meteorit di Bukit Bunuh, Lenggong, Perak berdasarkan perubahan yang berlaku terhadap mineral zirkon. Sebanyak 90 sampel mineral berat telah diperolehi daripada kaedah mendulang sedimen sungai di Bukit Bunuh dan kawasan sekitarnya, serta 10 sampel zirkon daripada batuan suevit, leburan impak dan granit impak di Bukit Bunuh. Kepekatan zirkon di dalam sampel mineral berat ditentukan dengan menggunakan kaedah belauan sinar-X (XRD), pendarflour sinar-X (XRF) dan petrografi, manakala mikroskop elektron imbasan (SEM) digunakan untuk mengenal pasti kehadiran mikrostruktur pada zirkon tersebut. Hasil analisis XRD juga menunjukkan terdapat kehadiran mineral reidit. Penelitian oleh kaedah SEM terhadap kesemua sampel zirkon mendapati ada antaranya mempunyai mikrostruktur PDF, PF dan bertekstur granular. Kesemua mikrostruktur dan mineral reidit ini adalah merupakan petunjuk kepada zirkon yang telah terkena impak meteorit pada tekanan sekitar 35 – 60 GPa. Justeru itu, kajian ini telah berjaya menentukan ciri-ciri dan sifat zirkon impak Bukit Bunuh, yang secara langsungnya memperkukuhkan Bukit Bunuh sebagai tapak impak meteorit. Walau bagaimanapun pentarikhkan U – Pb terhadap zirkon gagal memperolehi pentarikhkan impak tersebut kerana hanya memberi usia Granit Bintang iaitu ~ 187 hingga ~ 222 juta tahun dahulu.

RESEARCH ON ZIRCON MINERAL AS THE INDICATOR OF METEORITE IMPACT AT BUKIT BUNUH, LENGGONG, PERAK AND ITS CONTRIBUTION TO THE DATING

ABSTRACT

This research focused on the evidence of impact meteorite at Bukit Bunuh, Lenggong, Perak area based on the changes of the zircons minerals. Altogether 90 samples were obtained from stream sediment by using panning method at Bukit Bunuh and its surrounding area, along with 10 samples of zircons extracted from suevite rock, impact melt rock and impact granite rock at Bukit Bunuh. The concentration of zircon in the heavy minerals was determined by X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF) and petrographic technique. Whereas, scanning electron microscope (SEM) was used to identify the existence of microstructure of the zircon. The XRD result has also shown the existence of the reidite mineral. A detailed observation of the samples using SEM technique discovered that some of the zircons have PDFs, PFs and granular texture. These microstructures and reidite mineral are the indicators for shocked zircon that has been effected by meteorite impact with 35 – 60 GPa shocked pressure. Therefore, this research is accomplished as it is successfully identifies the characteristics of the zircon mineral which indirectly strengthen the evidence of Bukit Bunuh as the meteorite impact site. However the U – Pb zircons dating was failed to obtain the age of the impact meteorite because as for now it is only given the age of Bintang granite which is ~ 187 until ~ 222 million years ago.

BAB 1

PENDAHULUAN

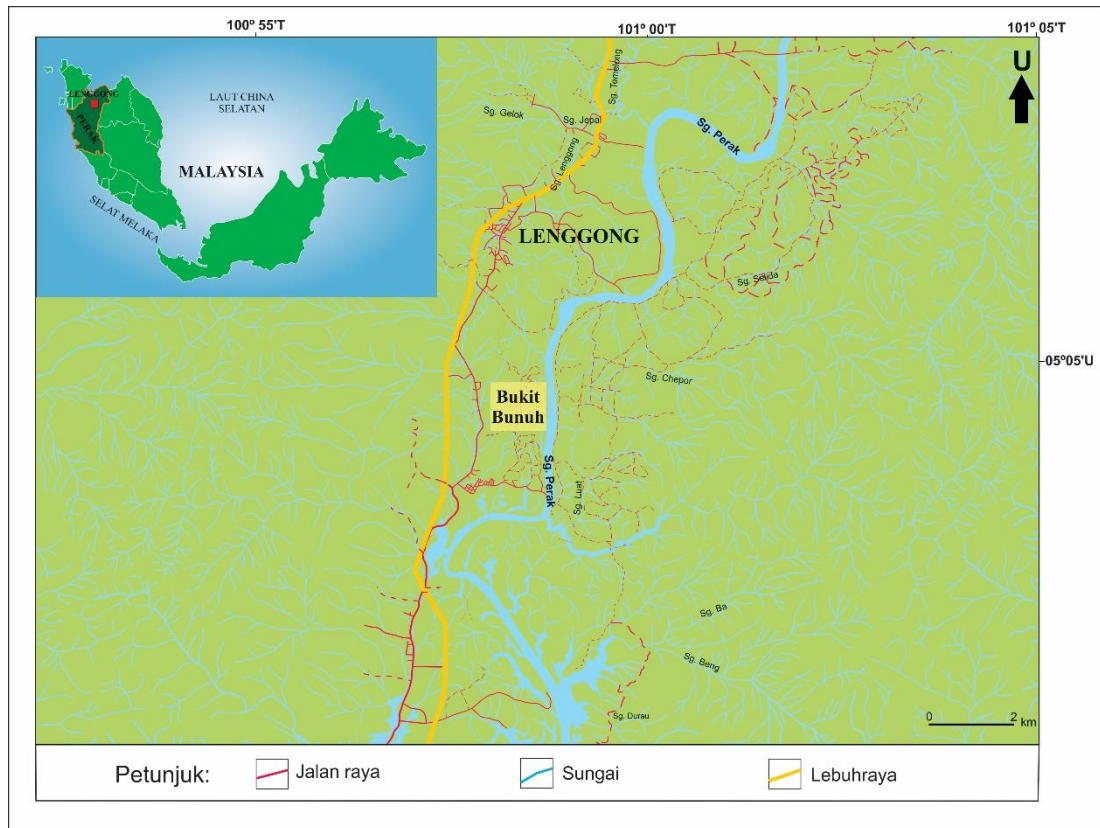
1.1 Pengenalan

Kajian ini ialah mengenai pembuktian impak meteorit dan kepentingannya kepada usia tapak Paleolitik berdasarkan mineral zirkon di Bukit Bunuh, Lenggong, Perak dan di kawasan sekitarnya. Kawasan kajian meliputi sekitar daerah Lenggong di dalam garis longitud $100^{\circ} 52.2' T$ hingga $101^{\circ} 05' T$ dan garis latitud pada $5^{\circ} 01.1' U$ hingga $5^{\circ} 09.9' U$. Secara umumnya, kajian ini dilakukan untuk membuktikan wujudnya kesan impak pada mineral zirkon dan sumbangannya kepada pentarikan impak meteorit di Bukit Bunuh.

1.2 Lokasi kajian

Kawasan kajian terletak di lembah dan kawasan pergunungan di sekitar daerah Lenggong, Perak (Rajah 1.1) dan (Rajah 1.2) Kawasan ini berkeluasan 396 km^2 berdasarkan peta topografi Lenggong (Lembar 3564) terbitan 1998 dan Batu Kurau (Lembar 3464) terbitan 1999. Peta topografi ini berskala 1:50,000, terbitan Pengarah Pemetaan Negara Malaysia. Lokaliti kawasan kajian ditandakan dengan menggunakan alat *Global Positioning System* (GPS).

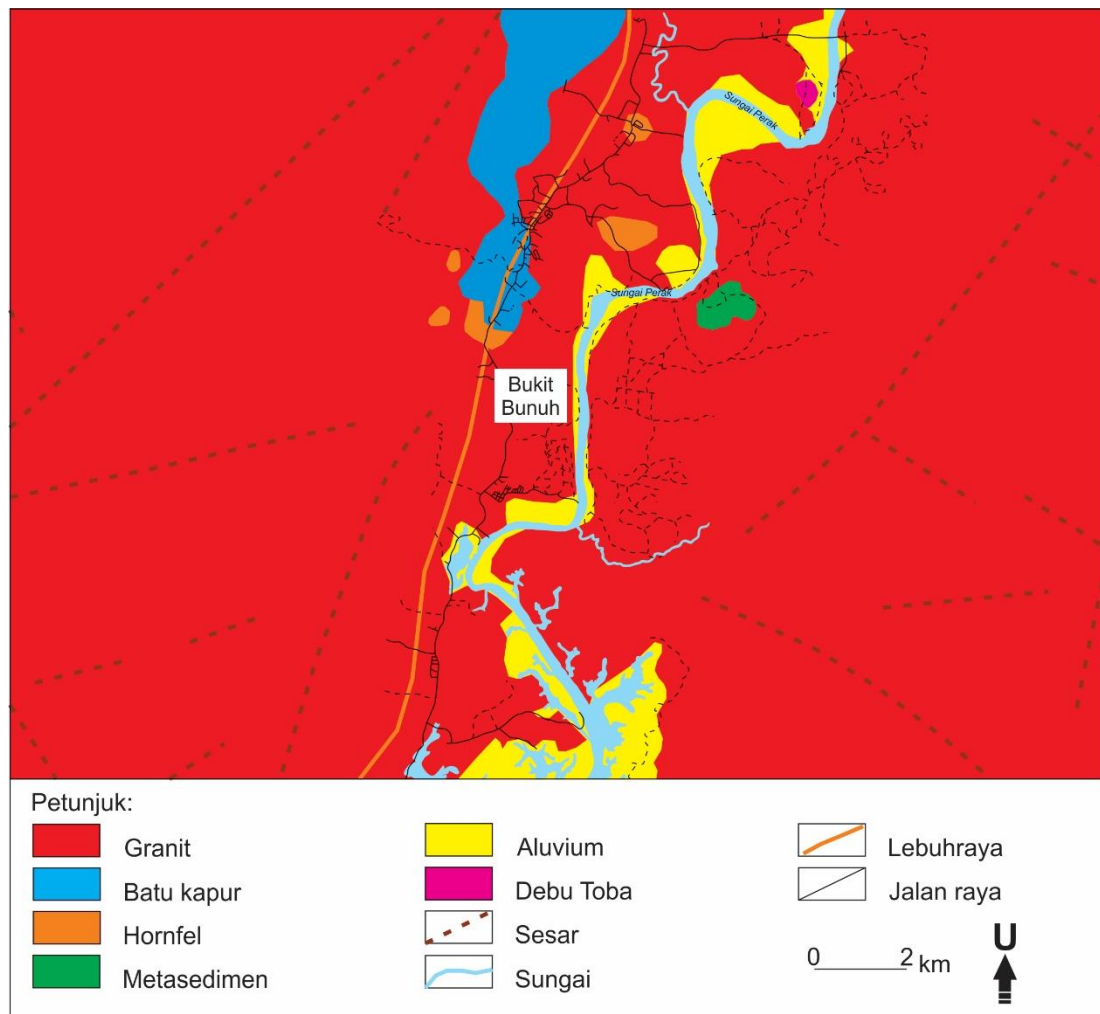
Kawasan kajian bagi projek ini dibendung oleh garis longitud $100^{\circ} 52.2' T$ hingga $101^{\circ} 05' T$ dan garis latitud pada $5^{\circ} 01.1' U$ hingga $5^{\circ} 09.9' U$.



Rajah 1.1: Kawasan kajian Bukit Bunuh yang terletak di dalam daerah Lenggong, Perak.

1.3 Mineral zirkon

Mineral zirkon terbentuk daripada zirkonium silikat (ZrSiO_4) iaitu terdiri daripada 67.22% jisim zirkonium (ZrO_2) dan 32.78% jisim silika (SiO_2). Mineral zirkon ini mempunyai nilai ketumpatan 4.68 g/cm^3 dan nilai kekerasan Mohs 7.5. Mineral zirkon terdiri daripada pelbagai warna, antaranya nirwana, kekuningan, merah jambu, coklat, hijau, biru dan hitam.



Rajah 1.2: Peta geologi kawasan kajian (selepas Abdul Rahim, 2012; Nur Asikin, 2013; Rosli Saad, 2016)

Mineral zirkon merupakan mineral tanpa ciri-ciri kemagnetan dan elektrostatik. Elemen hafnium (Hf) secara kimianya sangat serupa dengan zirkonium, lalu membentuk kekisi hablur mineral zirkon. Kandungan hafnium, HfO_2 di dalam jisim purata zirkon ialah sebanyak 0.5 – 2.0 (4.0%). Mineral zirkon dengan peningkatan kandungan Hf sehingga 24% dikenali sebagai alvit di dalam terma mineraloginya. Naegit pula merupakan mineral zirkon dengan peningkatan kandungan Yttrium (Y), Niobium (Nb) dan Tantalum (Ta). Selain Hf, zirkon juga boleh mengandungi kuantiti uranium (U) dan torium (Th) yang lebih besar. Ini menunjukkan zirkon merupakan salah satu sumber bahan aktif di dalam batuan granit.

Mineral zirkon mempunyai banyak fungsi antaranya ialah sebagai mineral industri dan geokronometer untuk menentukan usia prasejarah serta genesis batuan. Sektor mineral industri telah menggunakan mineral zirkon sebagai pasir acuan dan industri seramik kerana ciri-ciri refraktorinya. Aloi zirkonium pula digunakan sebagai sarung rod bahan bakar nuklear (Lener, 1997). Di samping itu mineral zirkon juga dijadikan sebagai batu permata kerana mempunyai warna yang pelbagai seperti warna hijau, biru, nirwana dan merah jambu. Selain itu mineral ini juga digunakan sebagai pemangkin untuk menghasilkan batu permata sintetik (Lener, 1997).

Menurut Wittmann *et al.* (2006) zirkon merupakan mineral yang mempunyai kerintangan yang tinggi terhadap tekanan dan haba. Oleh itu zirkon boleh memulihara bukti kesan impak yang berlaku pada suatu masa dahulu. Zirkon ini dipanggil zirkon impak. Zirkon impak mempunyai beberapa ciri utama iaitu dengan kehadiran mikrostruktur seperti retakan planar (PF) dan lamela berselang seli (PDF), tekstur granular dan kehadiran mineral reidit (Wittmann *et al.*, 2006). Zirkon impak boleh digunakan untuk menentukan pentarikan sesuatu usia impak meteorit. Zirkon mempunyai isotop U yang akan terurai kepada Pb di mana salah satu daripada isotop Pb iaitu ^{204}Pb merupakan isotop yang tiada induk radioaktif dan kelimpahannya di dalam kerak bumi ialah tiada perubahan berkadar dengan masa kecuali akibat hentaman meteorit. Sistem isotop menyediakan satu rangka geokronologi U-Th-Pb dengan menggunakan U- dan Th- di dalam mineral yang mana zirkon merupakan mineral yang lazim digunakan kerana kehadirannya yang banyak di dalam batuan yang membentuk kerak bumi (Parrish & Noble, 2003).

1.4 Kajian terdahulu

Terdapat beberapa kajian yang telah dilakukan di Bukit Bunuh. Kajian ini melibatkan kajian arkeologi dan geologi. Kajian arkeologi dan geologi ini bermula sejak tahun 2001 hingga kini.

1.4.1 Kajian arkeologi di Bukit Bunuh

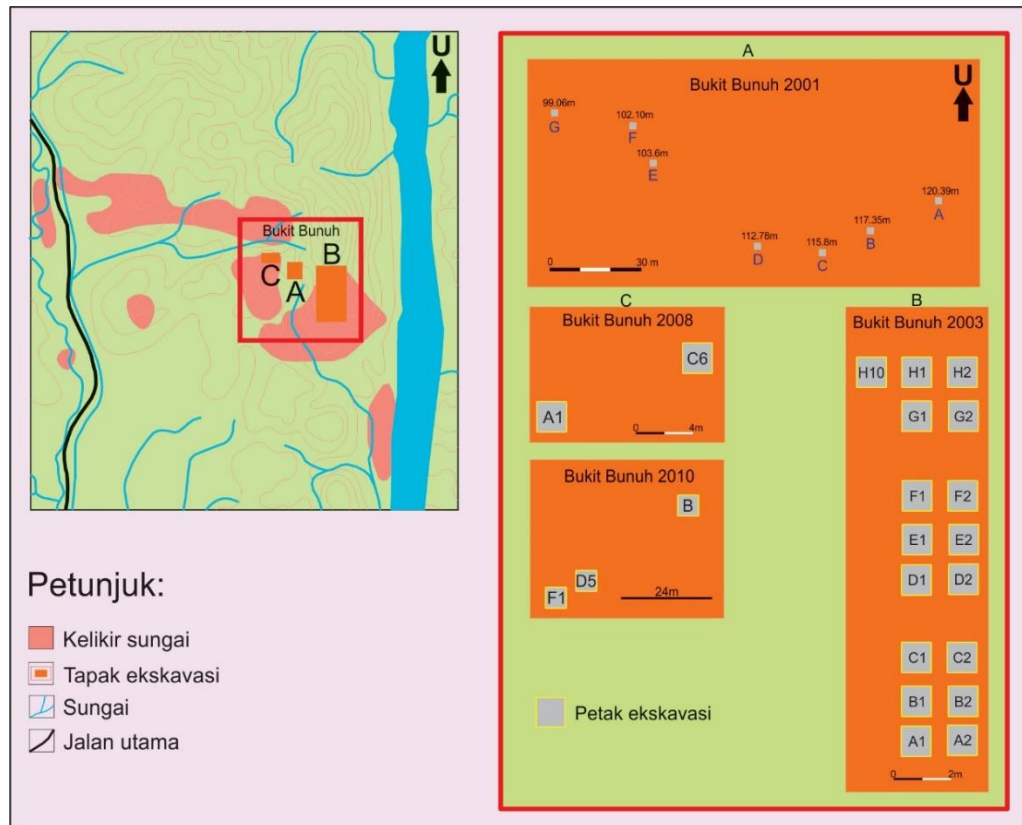
Bukit Bunuh merupakan tapak arkeogeologi yang menyumbang bukti baru kepada data arkeologi dan geologi di Malaysia. Tapak ini dikenali kerana telah mendedahkan bukti tapak impak meteorit yang berusia Kuaterner dan tapak Paleolitik yang tertua di Asia Tenggara (Mokhtar, 2010; Nor Khairunnisa *et al.*, 2016). Oleh kerana keistimewaan ini Bukit Bunuh telah disenaraikan sebagai salah satu tapak warisan dunia UNESCO di Lenggong pada 30 Julai 2012 (Mokhtar, 2012a).

Bukit Bunuh telah ditemui pada tahun 2001 melalui projek khas pemetaan tapak-tapak arkeologi baru dan pemetaan paleoalam di sekitar kawasan Lenggong (Mokhtar, 2006; Mokhtar & Jeffrey, 2007). Bukit Bunuh merupakan tapak Paleolitik terbuka yang luasannya mencapai tiga kilometer persegi. Berdasarkan kajian paleoalam, telah didapati kelikir di Bukit Bunuh bercampur dengan pebel dan kobel batuan suevit iaitu sejenis batuan yang terbentuk akibat daripada hentaman meteorit (Mokhtar & Jeffrey, 2007; Mokhtar, 2012a). Menurut Mokhtar (2010) Bukit Bunuh merupakan sebahagian daripada kawah impak meteorit yang berusia 1.83 juta tahun dahulu. Usia ini diperolehi dengan melakukan pentarikhan terhadap sampel suevit yang mana terdapat jumpaan kapak genggam di dalam batuan tersebut. Analisis pentarikhan ini telah dilakukan pada tahun 2008 dengan menggunakan teknik Kesan

Belahan (*Fission Track*, FT) di Makmal Geokronologi Jepun (*Japan Geochronology Lab*) (Mokhtar, 2010).

Pentarikan dan jumpaan alat batu seperti kapak genggam di dalam batuan suevit telah menunjukkan bahawa terdapat manusia awal yang telah mendiami kawasan Bukit Bunuh sebelum 1.83 juta tahun dahulu (Mokhtar, 2010). Masyarakat Paleolitik di Bukit Bunuh telah menggunakan kawasan ini kerana mempunyai banyak sumber batuan sebagai bahan mentah untuk membuat alat batu termasuk batuan suevit (Mokhtar, 2012a). Oleh itu, Bukit Bunuh telah dikenal pasti sebagai tapak terbuka Paleolitik yang tertua di Lembah Lenggong khususnya dan di Asia Tenggara umumnya. Hal ini menunjukkan terdapat hubungan yang jelas antara jumpaan bukti arkeologi dan geologi di Bukit Bunuh (Mokhtar, 2012a).

Kajian arkeologi di Bukit Bunuh juga melibatkan ekskavasi selain daripada survei dan pemetaan bagi tapak terbuka tersebut. Ekskavasi ini telah dilakukan secara berperingkat iaitu bermula pada tahun 2001 dan 2003 dan diteruskan pada tahun 2008 sehingga 2010 (Rajah 1.2). Terdapat dua cara jumpaan artifak di Bukit Bunuh iaitu secara jumpaan permukaan yang melibat survei yang bermula pada tahun 2001 dan secara *in-situ* yang melibatkan ekskavasi yang juga bermula pada tahun 2001. Survei awal untuk melakukan pemetaan paleoalam di Bukit Bunuh telah menemukan ribuan artifak di permukaan kawasan kajian yang mana berasosiasi dengan bongkah-bongkah yang dianggap batuan vulkanik pada mulanya. Hal ini telah memaksa ahli arkeologi supaya melakukan ekskavasi untuk mendapatkan maklumat atau data tapak secara *in-situ* (Mokhtar, 2004).



Rajah 1.3: Ekskavasi yang telah dijalankan di Bukit Bunuh (selepas Mokhtar, 2004; Nor Khairunnisa, 2013; Nur Asikin 2013).

Menurut Mokhtar (2004) ekskavasi pada tahun 2001 dan 2003 telah dijalankan pada bahagian selatan Bukit Bunuh. Ekskavasi pada tahun 2001 telah dilakukan untuk menentukan wujudnya lapisan kebudayaan *in-situ* di Bukit Bunuh. Terdapat tujuh petak bersaiz satu meter persegi telah diekskavasi yang mana ekskavasi ini telah dibantu oleh pelajar minor arkeologi USM, sesi 2001 (Mokhtar, 2004; Nur Asikin, 2013). Ekskavasi pada tahun 2003 pula melibatkan 17 petak yang setiap satunya bersaiz satu meter persegi. Hasil ekskavasi telah mendedahkan bahawa Bukit Bunuh merupakan tapak terbuka yang *in-situ*. Tapak ini berfungsi sabagai bengkel pembuatan alat batu berdasarkan asosiasi jenis artifak yang telah ditemui iaitu batu pelandas, batu pemukul, batu teras, alat repehan, alat pebel dan sisa kerja. Pentarikan mutlak telah dilakukan pada salah satu lapisan budaya petak D2 pada tapak ini dan telah memberi

usia $39,000 \pm 2,600$ (~ 40,000) tahun dahulu dengan menggunakan kaedah OSL (Mokhtar, 2004; 2006; Nur Asikin, 2013; Nor Khairunnisa, 2016).

Ekskavasi yang berikutnya pula telah dijalankan pada tahun 2008 sehingga 2010 di bahagian barat Bukit Bunuh. Ekskavasi ini dilakukan untuk mengetahui hubungan teknologi pembuatan alat batu dengan bahan mentah yang digunakan. Hasil ekskavasi ini juga telah mendedahkan tapak Bukit Bunuh sebagai bengkel pembuatan alat batu berdasarkan asosiasi alat batu yang telah ditemui seperti batu pelandas, batu teras, batu pemukul, alat repehan, alat ketulan, alat pebel dan puingan. Teknik pentarikan OSL telah digunakan untuk menentukan usia lapisan kebudayaan pada tapak ekskavasi ini. Pentarikan ini dilakukan pada sampel tanah daripada petak ekskavasi yang mana telah dianalisis di *Korea Basic Science Lab*, Seoul, Korea Selatan dan memberi usia 270,000 – 320,000 dan 490,000 – 550,000 tahun dahulu (Nor Khairunnisa, 2013; 2016).

Terdapat jumpaan sebuah lagi tapak pada teras pengendapan di bahagian barat daya Bukit Bunuh. Jumpaan tapak ini telah mendedahkan bukti penemuan artifak yang *in-situ*, tetapi masih belum diekskavasi. Pentarikan dengan kaedah OSL telah dilakukan pada lapisan kebudayaan teras pengendapan ini dan memberi usia 30,000 tahun dahulu (Nor Khairunnisa, 2013). Ini menunjukkan bahawa tapak tersebut merupakan tapak Paleolitik Akhir yang kedua selepas tapak 40,000 tahun dahulu di Bukit Bunuh yang mana kehidupan masyarakat Paleolitiknya adalah pada persekitaran terbuka di sekitar sungai dan tasik (Nur Asikin, 2013).

Ekskavasi yang telah dijalankan di Bukit Bunuh bagi tahun 2001 dan 2003 serta pada tahun 2008 hingga 2010 menunjukkan jumpaan alat batu dan bahan mentah untuk industri pembuatan alat batu adalah daripada jenis sama. Artifak batu yang dijumpai terdiri daripada batu pelandas, batu teras, batu pemukul, alat repehan, alat ketulan, alat pebel dan puingan. Bahan mentah yang digunakan untuk pembuatan alat batu ini pula terdiri daripada metakuarza, metakuarzit, metasedimen kerijangan dan suevit. Hal ini menunjukkan kedua-dua tapak ini telah digunakan oleh manusia awal selepas berlakunya hentaman meteorit pada 1.83 juta tahun dahulu. Namun di tapak Bukit Bunuh 2001 dan 2003 bahan mentah tersebut boleh wujud sebagai pebel sungai kerana tapak ini telah ditafsirkan sebagai kawasan sungai kuno pada suatu masa dahulu (Mokhtar, 2004; 2006; Nor Khairunnisa, 2013; 2016; Nur Asikin, 2013).

Berdasarkan data pentarikan yang telah dilakukan di Bukit Bunuh iaitu daripada 1.83 juta tahun dahulu sehingga 30,000 tahun dahulu menunjukkan bahawa terdapatnya kehidupan manusia awal sepanjang tempoh masa tersebut. Kehidupan masyarakat Paleolitik ini bermula daripada sebelum berlakunya impak meteorit iaitu 1.83 juta tahun dahulu, diikuti dengan 550,000 tahun dahulu, 270,000 tahun dahulu, 40,000 tahun dahulu serta 30,000 tahun dahulu. Ini menunjukkan terdapatnya bukti kronologi zaman Paleolitik yang agak lengkap iaitu daripada zaman Paleolitik Awal, Pertengahan dan Akhir di Bukit Bunuh. Bukit Bunuh juga merupakan satu-satunya tapak di dunia yang mendedahkan bukti masyarakat Paleolitiknya menggunakan batuan impaktit sebagai bahan mentah di dalam industri pembuatan alat batu. Sehingga kini tiada rekod yang menunjukkan penggunaan batuan impaktit sebagai alat batu bagi masyarakat Paleolitik kecuali tektit di seluruh dunia (Nor Khairunnisa, 2013; 2016; Nur Asikin 2013).

1.4.2 Kajian geologi di Bukit Bunuh

Kajian geologi di Lembah Lenggong bermula dengan kajian stratigrafi oleh Jones (1970) di kawasan Gerik dan Hulu Perak. Jones (1970) secara umumnya menyatakan kawasan Hulu Perak khususnya kawasan Lenggong terdiri daripada Formasi Kroh, Granit Bintang, Granit Titiwangsa dan enapan Kuaterner. Unit stratigrafi ini terdiri daripada batuan metamorf, igneus dan aluvium (Jones, 1970).

Kajian geologi di Bukit Bunuh telah dilakukan berdasarkan kriteria untuk menentukan sifat-sifat geologi bagi sesuatu struktur yang terbentuk akibat hentaman meteorit atau komet oleh Pusat Planetari dan Sains Angkasa (*Planetary and Space Science Centre*, PASSC), Universiti New Brunswick, Kanada. Kriteria-kriteria ini boleh dibahagikan kepada tiga kategori utama iaitu secara megaskopik (pandangan dari udara (*bird's eye*) / skala satelit), makroskopik (boleh dilihat dengan mata kasar) dan mikroskopik (perlu dilihat di bawah mikroskop). Terdapat enam kriteria utama yang telah disenaraikan oleh PASSC iaitu: (1) kehadiran kon pecah (*shatter cones*), (2) kehadiran PDF di dalam mineral pada litologi yang *in-situ*, (3) kehadiran mineral polimorf bertekanan tinggi, (4) kajian morfometri (kehadiran struktur kawah impak), (5) kehadiran batuan leburan impak dan suevit dan (6) kehadiran pseudotakilit dan breksia impak (Planetary and Space Science Centre, 2016(6)).

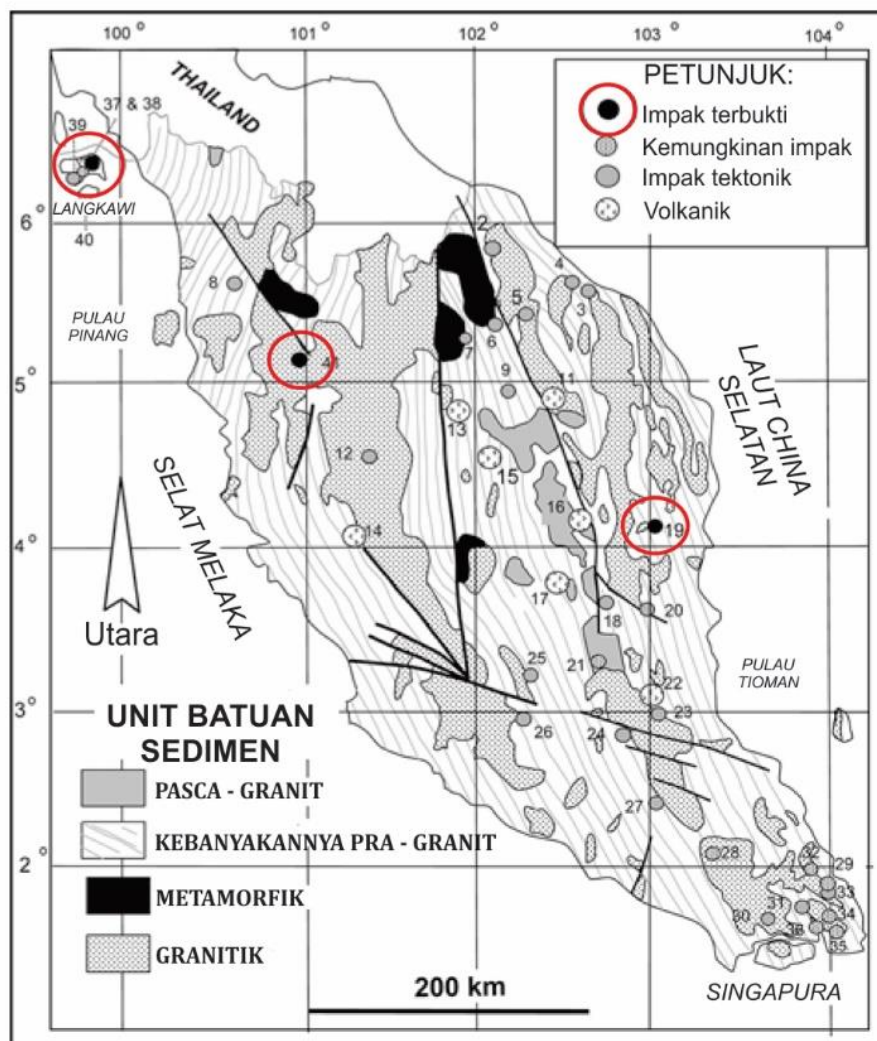
Tapak Bukit Bunuh telah ditemui oleh Mokhtar Saidin sejak 2001 semasa melakukan pemetaan batuan kelikir di kawasan tersebut. Menurut Mokhtar (2006) berdasarkan survei dan pemetaan didapati Bukit Bunuh merupakan sebahagian daripada bibir kawah yang terbentuk hasil daripada impak meteorit. Impak meteorit ini juga telah mendedahkan satu pembentukan formasi baru yang mempunyai ciri-ciri

pada umumnya seperti batuan volkano biasa. Namun didapati batuan ini berbeza daripada batuan volkano yang umum kerana batuan ini jauh lebih keras dan tumpat, mempunyai bukti berlaku proses peleburan semula dan terdapat pembentukan mikrostruktur impak. Batuan yang dikenali sebagai suevit ini telah terbentuk akibat daripada proses metamorfisme kejutan. Batuan ini bersifat breksia dengan kehadiran klasta yang bersudut dan mempunyai matrik yang halus (Mokhtar, 2006; Nur Asikin, 2013; Nor Khairunnisa, 2016).

1.4.2.1 Kawah Bukit Bunuh

Menurut Tjia (2003) terdapat tiga kawah impak meteorit di Malaysia yang telah dibuktikan iaitu Kawah Mahsuri di Langkawi (Kedah), Kawah Paloh (Pahang) dan kawah Bukit Bunuh, Lenggong (Perak) (Rajah 1.3). Melalui laporan oleh Mokhtar Saidin, ahli geoarkeologi Universiti Sains Malaysia (USM), pentarikhan terhadap batuan “aglomerat volkanik” di Bukit Bunuh telah memberikan usia 1.74 juta tahun dahulu melalui teknik pentarikhan FT di Makmal Geokronologi Jepun (Tjia, 2003).

Batuan aglomerat volkanik ini dipercayai batuan suevit bersifat breksia kerana mengandungi klasta daripada pecahan batuan yang bersaiz kecil sehingga besar yang mana terdiri daripada kuarza, kuarzit, syis, batuan igneus felsik dan beberapa jenis batuan yang belum dikenal pasti. Batuan megabreksia ini juga mempunyai jisim latar yang berwarna cerah yang seakan mewakili batuan tuf volkanik. Kajian melalui kaedah keratan rentas kuarza telah menunjukkan kehadiran struktur garisan selari retakan planar, padaman mozek dan terdapat beberapa set retakan (Tjia, 2003).



Rajah 1.4: Kawah impak meteorit di Malaysia yang telah dibuktikan (selepas Tjia, 2003).

Namun kawah Bukit Bunuh lebih istimewa berbanding kawah-kawah lain kerana ia mempunyai bukti kewujudan manusia awal iaitu dengan bukti jumpaan alat batu. Walaupun usia 1.74 juta tahun dahulu agak tua bagi kapak genggam di kawasan ini namun ia adalah tidak mustahil. Satu sampel suevit dengan jumpaan kapak genggam di dalamnya telah dihantar ke makmal yang sama iaitu Makmal Geokronologi Jepun untuk mengesahkan nilai usia tersebut. Pada 25 Disember 2008 hasil analisis pentarikan ini telah dikeluarkan dan memberi usia 1.83 juta tahun dahulu (Mokhtar, 2012a). Oleh itu hentaman meteorit dipercayai telah berlaku pada

1.83 juta tahun dahulu iaitu di dalam kala masa Kuaterner yang menjadi punca kepada kepupusan masyarakat Paleolitik pada masa tersebut berdasarkan jumpaan alat batu di dalam suevit. Hal ini dipercayai berlaku ketika impak meteorit tersebut berlaku yang mana alat batu ini telah bergumpal dengan leburan batuan sasaran yang merupakan batuan asalan di sekitar kawasan kajian.

1.4.2.2 Geologi am

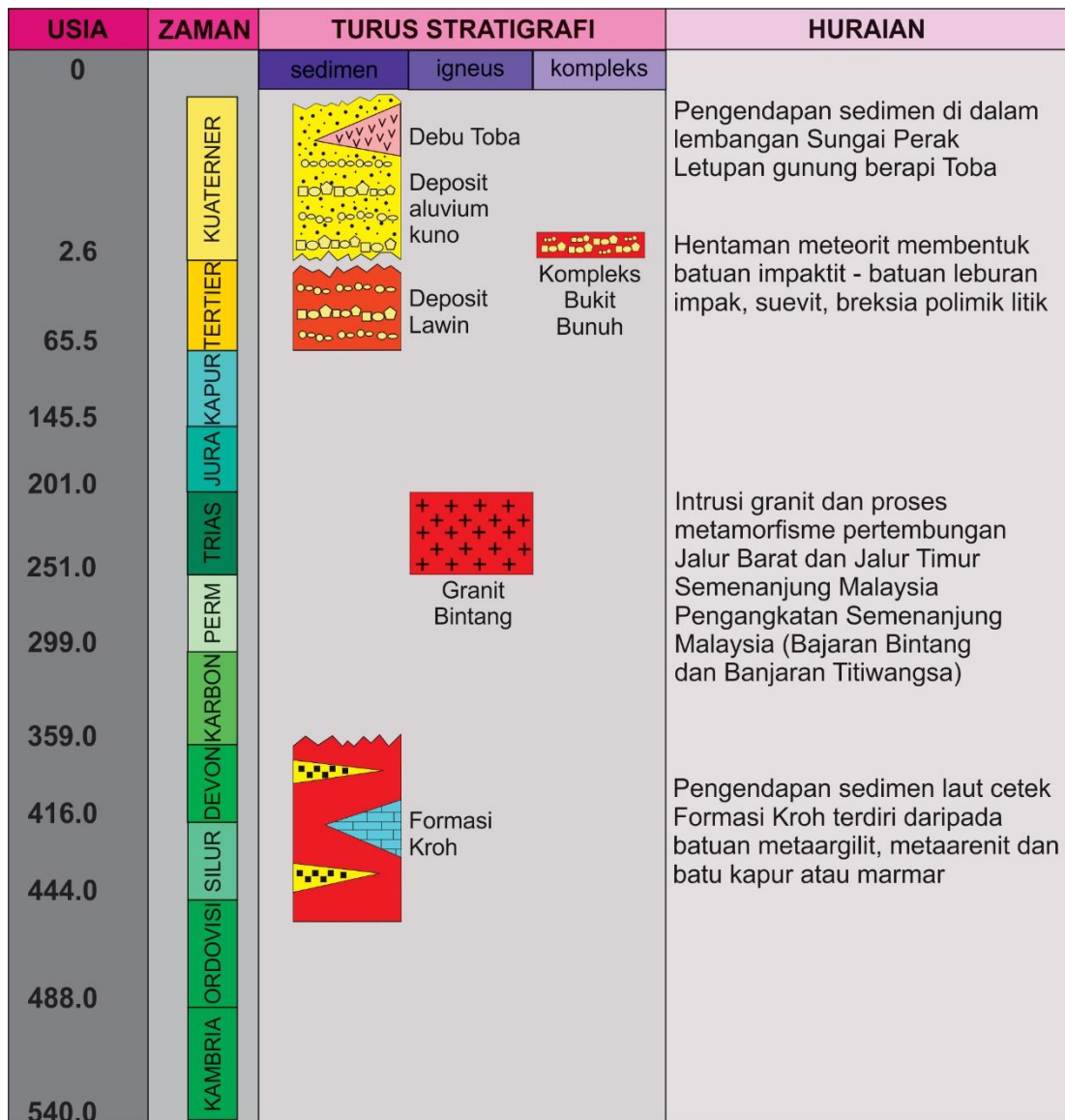
Menurut Kamal Roslan *et al.* (2012) kawasan Lenggong terdiri daripada kawasan lembah, kawasan morfologi karst dengan jumpaan banyak gua yang menjadi tempat perlindungan bagi masyarakat Paleolitik dan kawasan tanah tinggi yang dilitupi oleh hutan atau telah diterokai untuk penanaman kelapa sawit dan getah. Kawasan ini mempunyai beberapa jenis formasi batuan iaitu batuan igneus yang mempunyai taburan paling luas, diikuti batuan metasedimen yang terdiri daripada batuan kuarzit dan batu kapur, sedimen Kuaterner di sepanjang sungai serta endapan Tertier di bahagian utara kawasan Lenggong (Kamal Roslan *et al.*, 2012).

Batuan tertua di kawasan ini terdiri daripada jujukan batuan metasedimen yang dikenali sebagai Formasi Kroh daripada Kumpulan Baling. Kebanyakan batuan di dalam formasi ini terdiri daripada batu kapur yang telah termetamorf membentuk marmar. Formasi Kroh juga mengandungi batuan lain seperti batuan kuarzit dan struktur selang lapis batuan arenit / argilit. Batuan metasedimen ini telah dikelilingi oleh batuan granit yang menyebabkan batuan Formasi Kroh di kawasan Lenggong ini membentuk struktur sisa bumbung di atas jasad batuan Granit Bintang. Jenis batuan

yang paling lazim yang membentuk Granit Bintang ialah granit adamellit forfiritik berbutir kasar dan granit biotit berbutir sederhana (Kamal Roslan *et al.*, 2012; Nor Khairunnisa, 2013; Nur Asikin, 2013).

Struktur sedimen seperti perlapisan silang, perlapisan selari dan struktur palung mencadangkan bahawa proses pemendapan ini berlaku di persekitaran sungai. Taburan sedimen Kuaterner pula kebanyakannya terdapat di sepanjang Sungai Perak. Terdapat dua jenis sedimen Kuaterner yang ditemui di kawasan Lenggong iaitu endapan aluvium dan debu vulkanik yang dikenali sebagai debu Toba yang memberi usia pentarikan 75,000 tahun dahulu (Kamal Roslan *et al.*, 2012). Kajian pentarikan terbaru terhadap debu Toba di Lenggong telah memberikan usia 73.88 ± 0.32 ribu tahun dahulu (Storey *et al.*, 2012).

Menurut Kamal Roslan *et al.* (2012) kawasan Bukit Bunuh terdiri daripada bongkah batuan suevit, leburan impak, breksia impak polimik dan granit impak serta batuan metasedimen. Pembentukan pelbagai jenis batuan oleh proses peleburan semula ini telah mencadangkan bahawa Bukit Bunuh pernah dihentam oleh meteorit dan membentuk unit stratigrafi baru yang dikenali sebagai Kompleks Bukit Bunuh yang telah memberi usia 1.83 juta tahun dahulu (Kamal Roslan *et al.*, 2012; Nor Khairunnisa, 2013; Nur Asikin, 2013) (Rajah 1.4).



Rajah 1.5: Stratigrafi kawasan Lenggong (selepas Kamal Roslan *et al.*, 2012; Nor Khairunnisa, 2013; Nur Asikin, 2013).

1.4.2.3 Analisis petrografi dan mikroskop elektron imbasan (SEM)

Kajian petrografi telah dilakukan terhadap batuan dan mineral yang dijumpai di Bukit Bunuh. Terdapat beberapa jenis batuan impak yang boleh ditemui iaitu batuan leburan impak, suevit, breksia polimik litik, metasedimen impak, granit impak dan kuarza impak (Hamzah *et al.*, 2012a; Nur Asikin, 2013).

Menurut Hamzah *et al.* (2012a) batuan leburan impak di Bukit Bunuh mengandungi 50% atau lebih matrik yang berbutir halus, sama ada dalam bentuk kaca atau kriptokristalin / mikrokristalin. Suevit pula mempunyai kandungan klasta lebih daripada 50%. Kajian melalui kaedah mikroskop menunjukkan suevit merupakan asalan batuan metasedimen dan granit yang mempunyai klasta polimik separa lebur. Batuan breksia polimik litik pula merupakan batuan impaktit yang mempunyai pecahan batuan yang tidak melebur yang telah tergumpal di dalam matrik berkaca / kriptokristalin. Batuan metasedimen pula sangat tumpat dengan struktur foliasinya masih terpelihara (Hamzah *et al.*, 2012a).

Hamzah *et al.* (2012b) juga merekodkan terdapat empat ciri yang boleh digunakan untuk membezakan sesuatu unit batuan sama ada daripada asalan vulkanik atau impak meteorit. Ciri yang pertama ialah bentuk klasta yang terdapat di dalam batuan. Penghabluran klasta mineral bagi batuan volkano lazimnya mempunyai muka hablur yang lengkap atau hampir lengkap (butiran anhedron hingga subhedron). Namun batuan asalan impak di Bukit Bunuh pula menunjukkan kehadiran klasta mineral yang kurang dengan kehadiran muka hablur (anhedron). Hal ini kerana klasta tersebut merupakan sisa batuan yang telah melebur atau separa melebur yang lazimnya terdapat di dalam batuan leburan impak dan suevit di Bukit Bunuh.

Ciri yang kedua pula ialah wujudnya pembentukan bahan berkaca di antara butiran mineral yang membentuk batuan tersebut. Pembentukan tekstur ini mencadangkan bahawa bahan leburan berkaca ini terbentuk selepas batuan asalan telah mengeras. Tekstur ini lazimnya hadir di dalam batuan impaktit di Bukit Bunuh (Hamzah *et al.*, 2012b).

Ciri yang ketiga ialah berdasarkan perkembangan normal penghabluran mineral daripada magma, di mana matrik bagi batuan vulkanik akan menjadi lebih kaya dengan elemen bagi mineral yang bersuhu rendah seperti ortoklas dan kuarza. Namun fenomena ini masih tidak jelas di dalam batuan impaktit dan hipotesis ini masih belum digunakan bagi batuan impaktit Bukit Bunuh (Hamzah *et al.*, 2012b).

Ciri yang keempat pula merupakan hasil daripada kajian geokimia terhadap batuan suevit dengan menggunakan analisis spektrometer sinar – X serakan tenaga (EDX, SEM). Hasil kajian menunjukkan kehadiran beberapa unsur nadir bumi (REE) seperti cerium (Ce) dan neodymium (Nd) pada kadar yang lebih tinggi berbanding kadar normal di dalam kerak bumi. Kajian ini menunjukkan unsur Ce dan Nd ini merupakan unsur berasal daripada luar bumi seperti asalan meteorit (Hamzah *et al.*, 2012b; Nur Asikin, 2013).

1.4.2.4 Morfologi kawah Bukit Bunuh

Kajian morfologi kawah Bukit Bunuh dilakukan melalui beberapa kaedah seperti kaedah geofizik, pengerudian teras gerudi, analisis lineamen, analisis sistem saliran, analisis topografi, analisis litologi dan analisis taburan struktur kon pecah.

Kajian geofizik melibatkan kaedah magnetik, graviti, keberintangan 2D dan seismik yang menunjukkan bukti kepada pembentukan struktur kawah impak dari segi lokasi sebenar, jenis kawah, diameter dan kedalaman kawah tersebut (Mohd Nawawi *et al.*, 2004, 2011; Khairul Ariffin *et al.*, 2010; Umar *et al.*, 2012; Abdul Rahim *et al.*,

2012; 2014; Rosli *et al.*, 2012a; 2012b; Nur Asikin, 2013; Rosli, 2016).

Menurut Rosli (2016) kajian geofizik yang dilakukan di Bukit Bunuh yang melibatkan kaedah magnetik, graviti, keberintangan 2D dan seismik secara umumnya menunjukkan kawasan kajian telah dibahagikan kepada dua subpermukaan tanah yang utama iaitu endapan aluvium yang bercampur dengan bongkah batuan dan batuan dasar yang berkedalaman 5 – 50 meter. Kajian melalui kaedah magnetik dan graviti menunjukkan terdapat dua zon utama di kawasan kajian iaitu zon dengan anomali yang tinggi (bernilai positif) dan zon dengan anomali yang rendah (bernilai negatif) yang mana zon dengan anomali yang tinggi ini merangkumi sebahagian besar daripada kawasan kajian dan zon dengan anomali yang rendah hanya terdapat pada satu bahagian sahaja di kawasan kajian ini. Selain itu, zon dengan anomali yang rendah ini telah dikelilingi oleh zon dengan anomali yang tinggi yang mana telah ditafsirkan sebagai struktur lingkaran bibir kawah.

Kajian melalui kaedah keberintangan 2D dan seismik pula menunjukkan terdapat dua zon utama di kawasan kajian iaitu endapan aluvium yang telah bercampur dengan bongkah batuan sebagai beban atas dan batuan dasar dengan kedalaman 5 – 50 meter. Batuan dasar yang didapati pada aras yang rendah telah dikelilingi oleh batuan dasar yang didapati pada aras yang tinggi yang mana telah ditafsirkan sebagai struktur lingkaran bibir kawah. Secara umumnya kesemua kaedah geofizik menunjukkan batuan dasar pada aras yang tinggi/ anomali yang tinggi (bibir kawah) telah terbentuk pada kawasan yang sama dengan beberapa bahagian kawasan yang mempunyai aras batuan dasar yang tinggi/ anomali tinggi di bahagian tengah kawasan kajian yang mana telah ditafsirkan sebagai pusat kawah (Rosli, 2016).

Menurut Zakaria *et al.* (2012) data teras lubang gerudi Bukit Bunuh menunjukkan ketebalan bahan yang telah terluluhawa dan terurai mempunyai ketebalan ~54 meter. Pada kedalaman lebih daripada 54 meter terdapat batuan hornfel kalk – silika yang mempunyai struktur retakan dan mengalami proses luluhawa yang pesat. Keadaan ini menunjukkan kawasan Bukit Bunuh pernah dikenakan tekanan yang sangat tinggi suatu ketika dahulu seperti daripada impak meteorit. Bahan yang terluluhawa dan terurai ini mungkin merupakan asalan batuan yang telah hancur dan separa melebur yang telah mengalami proses luluhawa aktif.

Menurut Nur Asikin (2013) bukti teras lubang gerudi di bahagian timur dan barat Bukit Bunuh yang digabungkan dengan data keberintangan geofizik mendapati bahagian permatang Bukit Bunuh mempunyai ciri-ciri tonjolan tengah kawah yang mana tonjolan ini merupakan batuan dasar yang ditindih oleh lapisan aluvium yang nipis. Selain itu, bahagian kiri dan kanan permatang ini pula terdiri daripada lapisan aluvium yang tebal yang menunjukkan bahawa bahagian ini merupakan lembangan kawah.

Nur Asikin (2013) juga menyatakan bukti litologi menunjukkan terdapat bilangan batuan impaktit seperti batuan leburan impak dan suevit yang banyak di bahagian permatang Bukit Bunuh dan bilangan batuan ini semakin berkurang apabila semakin menjauhi permatang tersebut. Ini menunjukkan permatang Bukit Bunuh merupakan pusat kawah impak. Bukti kon pecah pula adalah berdasarkan kedudukan struktur ini dijumpai iaitu di bahagian permatang Bukit Bunuh (tengah kawah) dan di bahagian luar Bukit Bunuh iaitu di bahagian barat daya dan timur laut Bukit Bunuh. Analisis sistem saliran dan sesar major di sekitar kawasan kajian pula menunjukkan

terdapat pola saliran jenis membulat dan memusat di kawasan Bukit Bunuh. Pola saliran ini tertumpu pada permatang Bukit Bunuh yang mana merupakan bahagian tengah kawah.

Analisis lineamen juga telah dilakukan di sekitar kawasan kajian oleh (Jeffrey *et al.*, 2011) dengan melakukan penelitian terhadap foto udara dan imej satelit. Hasil analisis mendapati terdapat lingkaran lineamen di sekitar kawasan kajian ini dan berpusat di Bukit Bunuh di mana lingkaran tersebut merupakan struktur sesar yang mungkin terbentuk akibat impak meteorit. Gabungan daripada kesemua analisis ini telah menunjukkan bukti kepada pembentukan morfologi struktur kawah di Bukit Bunuh di mana Bukit Bunuh sendiri sebagai pusat kawah (Nur Asikin, 2013).

1.4.2.5 Mineralogi

Menurut Wan Fuad *et al.* (2012) terdapat pembentukan mineral polimorf bertekanan tinggi asalan kuarza iaitu koesit dan stishovit di Bukit Bunuh dan kawasan sekitarnya. Mineral ini hanya boleh terbentuk pada mineral kuarza yang dikenakan tekanan dan suhu yang sangat tinggi seperti oleh impak meteorit. Kajian ini dilakukan dengan menggunakan sampel mineral berat yang telah didulang di dalam sungai di sekitar kawasan kajian. Kehadiran mineral ini pula ditentukan dengan menggunakan kaedah mikroskop binokular dan teknik belauan sinar-X (XRD).

Terdapat juga kajian yang dijalankan pada batuan breksia polimik dengan menggunakan teknik XRD untuk menentukan kehadiran mineral polimorf bertekanan tinggi ini. Terdapat mineral koesit dan stishovit yang ditemui namun hadir dalam

kuantiti yang sangat rendah. Hal ini mungkin kerana mineral ini merupakan mineral metastabil yang tidak stabil pada suhu bilik dan kecenderungan untuk kembali semula kepada mineral kuarza adalah tinggi (Chopin, 1984; Ferrière *et al.*, 2009; Nur Asikin, 2013).

1.4.2.6 Struktur impak

Melalui kajian yang telah dilakukan terdapat beberapa struktur bukti impak yang ditemui di Bukit Bunuh dan kawasan sekitarnya seperti struktur kon pecah, PDF, PF, maskelinit, struktur jalur bengkok di dalam mineral dan struktur lamela deformasi metamorfik (MDL). Struktur-struktur ini ditemui di dalam bongkah suevit, batuan leburan impak dan granit impak yang terdapat di kawasan kajian (Anizan *et al.*, 2012; Nur Asikin, 2013).

Menurut Anizan *et al.* (2012) terdapat jumpaan kon pecah dengan struktur jaluran dan bertekstur ekor kuda (*horse tail*) yang bersaiz 12 cm pada singkapan batuan dan dalam bentuk pecahan yang bersaiz 2 – 7 cm di sekitar Bukit Bunuh. Kehadiran struktur kon pecah ini mencadangkan bahawa terletak di bahagian pusat dan bibir kawah impak. Mikrostruktur lamela yang halus dan bersaiz < 0.1 mm yang dikenali sebagai PDF pula dijumpai di dalam mineral yang terdapat di dalam bongkah batuan suevit dan leburan impak. Mikrostruktur PF pula mempunyai saiz yang lebih besar berbanding PDF iaitu bersaiz purata 0.2 – 0.5 mm yang dijumpai pada mineral kuarza dan feldspar di dalam batuan granit dan suevit. Struktur maskelinit pula menunjukkan fasa perubahan bahan berkaca yang dijumpai di dalam mineral plagioklas atau alkali feldspar di dalam batuan suevit, leburan impak dan granit. Struktur jalur bengkok di

dalam mineral menunjukkan perubahan pada padaman selari sesuatu mineral yang dijumpai di dalam mineral kuarza pada batuan granit dan suevit. Struktur MDL pula menunjukkan kehadiran jalur di dalam mineral kuarza pada batuan suevit.

1.4.2.7 Pentarikan

Penentuan usia batuan dan tanah di Bukit Bunuh pula telah melibatkan beberapa teknik pentarikan seperti OSL, FT, K – Ar, Ar – Ar dan U – Pb (Mokhtar, 2007; 2012b). Analisis pentarikan ini telah dilakukan di makmal *Hiruzen Institute for Geology and Chronology, Okayama, Japan* (ESR dan K-Ar), *Geochronology Japan Inc., Japan* (FT), *Oregon State University Lab, USA* ($^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$) dan *Geochronology and Isotopic Geochemistry Lab, Canada* ($^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ dan U – Pb) (Mokhtar, 2012b). Hasil pentarikan di Bukit Bunuh ini telah memberikan usia antara ~305 hingga 1.34 juta tahun dahulu iaitu daripada kala masa Karbon hingga Kuaterner. Namun jumpaan alat batu dalam suevit telah mencadangkan bahawa usia impak meteorit yang berlaku di Bukit Bunuh tidak berkemungkinan lebih tua daripada zaman Kuaterner. Oleh itu berdasarkan kepada pentarikan yang terkini usia impak meteorit di Bukit Bunuh ialah antara 1.34 – 1.84 juta tahun dahulu (Mokhtar, 2012b).

1.5 Isu dan masalah

Kajian terdahulu telah mendedahkan tiada data zirkon impak yang terdapat di Malaysia. Hal ini kerana kajian mengenai impak meteorit ini banyak difokuskan kepada kajian berdasarkan bukti impak yang disenaraikan oleh PASC. Bukti impak yang telah ditemui di Bukit Bunuh adalah seperti pembentukan morfologi kawah

impak, kehadiran struktur dampak seperti struktur kon pecah dan mikrostruktur PF dan PDF di dalam mineral, kehadiran mineral polimorf bertekanan tinggi seperti koesit dan stishovit, kehadiran batuan leburan dampak dan suevit serta kehadiran pseudotakilit dan breksia dampak.

Kajian terdahulu juga menunjukkan pentarikhan U – Pb terhadap zirkon di kawasan kajian masih pada peringkat awal dan masih tiada julat usia pada zaman Kuaterner yang ditemui. Hal ini kerana zirkon yang digunakan merupakan zirkon separa lebur yang memberi usia pentarikhan bagi pembentukan batuan di sekitar kawasan kajian terutamanya batuan granit yang berusia ~ 220 – 230 juta tahun dahulu iaitu di dalam kala masa Trias. Zirkon yang diperlukan untuk pentarikhan ini adalah zirkon terimpak dan melebur sepenuhnya. Zirkon dampak hadir dengan beberapa ciri seperti terdapat mikrostruktur PF, PDF, kehadiran mineral reidit dan zirkon dampak bertekstur granular.

Hasil kajian terdahulu juga menunjukkan data pentarikhan terhadap bahan dampak dan kaedah yang digunakan masih sedikit bagi kawasan kajian ini. Sampel batuan impaktit yang telah digunakan untuk analisis pentarikhan ialah kuarza dampak dan suevit. Teknik pentarikhan yang telah digunakan ialah ESR bagi kuarza dan FT, K – Ar, Ar – Ar dan U – Pb bagi batuan suevit. Namun hanya teknik pentarikhan ESR terhadap kuarza dan FT terhadap zirkon di dalam batuan suevit sahaja yang memberikan julat usia yang dicari iaitu usia di dalam kala masa Kuaterner (1.34 – 1.84 juta tahun dahulu).

1.6 Tujuan

Tujuan kajian ini adalah untuk:

1. Mengenal pasti cirian fizikal dan kimia zirkon di Bukit Bunuh, Lenggong, Perak dan kawasan sekitarnya.
2. Mendokumentasikan sifat-sifat fizikal zirkon impak di kawasan impak meteorit di Bukit Bunuh, Lenggong, Perak dan kawasan sekitarnya.
3. Menentukan pentarikhan zirkon impak di Bukit Bunuh, Lenggong, Perak

1.7 Metod kajian

Kajian ini dilakukan dengan menggunakan 90 sampel mineral berat yang didulang di sekitar kawasan Lenggong dan 10 sampel zirkon yang diekstrak daripada batuan impaktit yang diambil di sekitar Bukit Bunuh. Sampel-sampel ini dianalisis dengan menggunakan kaedah pemisah graviti dengan menggunakan cecair berat, kaedah pemisah magnet isodinamik, mikroskop optik, teknik belau sinar – X (XRD), teknik pendaflour sinar-X (XRF) dan mikroskop elektron imbasan (SEM) serta analisis pentarikhan dengan menggunakan teknik U – Pb.

Metod yang digunakan di dalam kajian ini ialah persampelan di lapangan dan analisis makmal. Kajian ini melibatkan dua kaedah untuk mendapatkan sampel iaitu mengekstrak zirkon daripada sampel mineral berat dan sampel batuan impaktit. Bagi sampel mineral berat metodologi yang digunakan ialah survei dan pemetaan, mendulang, memisah mineral berat dengan kaedah graviti, penggunaan pemisah magnetik isodinamik, pemilihan tangan dan penggunaan SEM serta pentarikhan U – Pb. Bagi batuan impaktit pula metodologi yang digunakan ialah penyerbukan,

pengayakan basah, mendulang, pemisah mineral berat oleh graviti, pemisah magnetik isodinamik, pemilihan tangan, SEM dan pentarikan U – Pb. Teknik XRD dan XRF digunakan untuk menentukan kehadiran zirkon di dalam sampel mineral berat serta teknik petrografi pula digunakan untuk menentukan kehadiran zirkon di dalam batuan impaktit (Rajah 1.5).

1.8 Skop kajian

Kajian ini meliputi Bukit Bunuh dan kawasan sekitarnya. Pemetaan dan persampelan dilakukan untuk mengekstrak mineral berat daripada sedimen sungai dan batuan impaktit di sekitar kawasan kajian. Namun kajian ini tidak melibatkan taburan kepekatan mineral berat di sesuatu lokaliti. Kajian ini juga hanya difokuskan kepada penggunaan mineral zirkon sebagai sampel untuk analisis pentarikan tanpa melibatkan sampel jenis mineral yang lain. Selain itu kajian ini juga hanya difokuskan kepada satu teknik pentarikan iaitu U – Pb tanpa melibatkan teknik-teknik pentarikan yang lain seperti Ar – Ar, K – Ar, OSL, FT dan sebagainya.

1.9 Rumusan bab

Secara umumnya kajian ini adalah merupakan satu lagi kaedah tambahan pembuktian adanya kejadian hentaman meteorit di Bukit Bunuh. Kaedah penggunaan mineral zirkon terimpak ini juga dikaitkan dengan pentarikan tapak. Bab berikutnya akan membincangkan tentang tapak-tapak impak meteorit dunia yang telah diiktiraf oleh PASSC yang memberi usia pentarikan dengan menggunakan mineral zirkon serta bukti mikrostruktur impak yang terbentuk pada zirkon tersebut. Bab 3 pula akan